

#3  
5.22.02

AO

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

O I P E JC182  
APR 25 2002  
PATENT & TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of )

Ken MATSUOKA et al. )

Group Art Unit: 2633 )

Application No.: 10/054,960 )

Examiner: Unassigned )

Filed: January 25, 2002 )

For: TUNABLE DISPERSION )  
COMPENSATION DEVICE, OPTICAL )  
RECEIVER, AND OPTICAL FIBER )  
COMMUNICATION SYSTEM )

RECEIVED  
APR 29 2002  
Technology Center 2600

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign applications in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed:

Japanese Patent Application No. 2001-175806 filed June 11, 2001; and

Japanese Patent Application No. 2001-371848 filed December 5, 2001.

In support of this claim, enclosed are certified copies of said prior foreign applications. Said prior foreign applications were referred to in the oath or declaration. Acknowledgment of receipt of the certified copies is requested.

Respectfully submitted,

BURNS, DOANE, SWECKER & MATHIS, L.L.P.

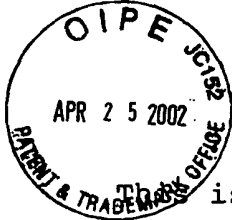
Date: April 25, 2002

By: Douglas H. Pearson  
Douglas H. Pearson  
Registration No. 47,851

P.O. Box 1404  
Alexandria, Virginia 22313-1404  
(703) 836-6620

RECEIVED  
MAY 17 2002  
TECHNOLOGY CENTER 2800

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



This is to certify that the annexed is a true copy of  
the following application as filed with this Office.

Date of Application : June 11, 2001

Application Number : Japanese Patent Application No. 2001-175806

Applicant(s) : MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA

RECEIVED  
APR 29 2002  
Technology Center 2600

RECEIVED  
MAY 17 2002  
TECHNOLOGY CENTER 2800

This 7th day of December, 2001

Commissioner,  
Japan Patent Office Kozo OIKAWA

Certificate No. 2001-3106454



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2001年 6月11日

RECEIVED

APR 29 2002

出 願 番 号  
Application Number:

特願2001-175806

Technology Center 2600

出 願 人  
Applicant(s):

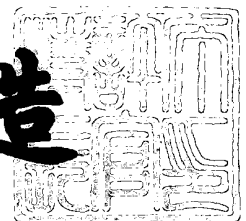
三菱電機株式会社

RECEIVED  
MAY 17 2002  
TECHNOLOGY CENTER 2800

2001年12月 7日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3106454

【書類名】 特許願

【整理番号】 531814JP01

【提出日】 平成13年 6月11日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H04B 10/00  
H04J 14/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会  
社内

【氏名】 平井 俊之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会  
社内

【氏名】 橋本 実

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会  
社内

【氏名】 加藤 昭彦

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会  
社内

【氏名】 松岡 憲

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100066474

【弁理士】

【氏名又は名称】 田澤 博昭

【選任した代理人】

【識別番号】 100088605

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 公延

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 020640

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 可変分散補償器、光受信装置および光ファイバ通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回折格子を有する光導波路と、  
該光導波路の光軸に沿って設けられた複数のヒータと、  
複数のパルス電流を生成して上記複数のヒータにそれぞれ供給することにより  
上記回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段と  
を備えた可変分散補償器。

【請求項 2】 回折格子はチャープド回折格子であることを特徴とする請求  
項 1 記載の可変分散補償器。

【請求項 3】 パルス電流供給手段は、回折格子に生成される所望の温度分  
布に応じて複数のヒータにそれぞれ供給される複数のパルス電流のパルス幅を調  
節するパルス幅制御手段を含むことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の  
可変分散補償器。

【請求項 4】 パルス電流供給手段は、複数のパルス電流が異なる時間に複  
数のヒータにそれぞれ到達するように、上記複数のパルス電流を上記複数のヒー  
タにそれぞれ供給することを特徴とする請求項 3 記載の可変分散補償器。

【請求項 5】 パルス電流供給手段は、複数のパルス電流を複数のグループ  
に分割し、異なるグループのパルス電流が異なる時間に対応する複数のヒータに  
それぞれ到達するように、上記複数のパルス電流を上記複数のヒータにそれぞれ  
供給することを特徴とする請求項 3 記載の可変分散補償器。

【請求項 6】 パルス電流供給手段は、直流電源と、該直流電源からの直流  
出力のノイズを除去して出力する EMI 除去フィルタと、該 EMI 除去フィルタ  
の出力から複数のパルス電流を生成するスイッチング手段とを備えたことを特徴  
とする請求項 1 から請求項 5 のうちのいずれか 1 項記載の可変分散補償器。

【請求項 7】 パルス幅制御手段は、光導波路の光軸に沿って複数のヒータ  
が並んでいる順に上記複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパル  
ス幅が増大または減少するように、上記複数のパルス電流のパルス幅を調節する  
ことを特徴とする請求項 3 記載の可変分散補償器。

【請求項 8】 光導波路の光軸に沿って複数のヒータが並んでいる順に上記複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパルス幅が線形に増大または減少するように、上記複数のパルス電流のパルス幅が調節されることを特徴とする請求項 7 記載の可変分散補償器。

【請求項 9】 パルス幅制御手段は、初期値およびパルス幅増加値に基づき複数のヒータのそれぞれに供給すべきパルス電流のパルス幅を決定するパルス幅決定手段を有することを特徴とする請求項 8 記載の可変分散補償器。

【請求項 10】 パルス幅制御手段は、複数のヒータについてそれぞれ予め設定された複数の補正係数を用いて、パルス幅決定手段により決定された複数のパルス電流のパルス幅を補正する補正手段を有することを特徴とする請求項 9 記載の可変分散補償器。

【請求項 11】 光導波路の光軸に沿って複数のヒータが並んでいる順に上記複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパルス幅が非線形に増大または減少するように、上記複数のパルス電流のパルス幅が調節されることを特徴とする請求項 7 記載の可変分散補償器。

【請求項 12】 パルス幅制御手段は、初期値、パルス幅増加値および複数のヒータについてそれぞれ予め設定された複数の補正係数に基づき複数のヒータのそれぞれに供給すべきパルス電流のパルス幅を決定するパルス幅決定手段を有することを特徴とする請求項 11 記載の可変分散補償器。

【請求項 13】 入射する光信号の波長分散を検出し、検出した波長分散に応じた制御信号を出力する分散検出器と、

回折格子を有する光導波路と、該光導波路の光軸に沿って設けられた複数のヒータと、上記分散検出器から出力される制御信号に応じて複数のパルス電流を生成して上記複数のヒータにそれぞれ供給することにより上記回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段とを含む可変分散補償器と、

分散を補償すべき光信号を上記可変分散補償器へ導くとともに、上記可変分散補償器により補償された光信号を上記分散検出器へ導く光サーキュレータと

を備えた光受信装置。

【請求項 14】 可変分散補償器のパルス電流供給手段は、回折格子に生成

される所望の温度分布に応じて複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパルス幅を調節するパルス幅制御手段を含むことを特徴とする請求項 1 3 記載の光受信装置。

【請求項 1 5】 可変分散補償器のパルス電流供給手段は、複数のパルス電流が異なる時間に複数のヒータにそれぞれ到達するように、上記複数のパルス電流を上記複数のヒータにそれぞれ供給することを特徴とする請求項 1 4 記載の光受信装置。

【請求項 1 6】 複数の光信号を多重化する光送信機と、該光送信機により多重化された複数の光信号を伝送するための光ファイバ伝送路と、該光ファイバ伝送路を介して受信した多重化された複数の光信号を多重分離して各光信号が運ぶ情報を復調する光受信機と、上記光ファイバ伝送路を介して伝送される上記複数の光信号の分散を補償する可変分散補償手段とを備えた光ファイバ通信システムにおいて、

上記可変分散補償手段は、回折格子を有する光導波路と、該光導波路の光軸に沿って設けられた複数のヒータと、複数のパルス電流を生成して上記複数のヒータにそれぞれ供給することにより上記回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段とを備えた少なくとも 1 つの可変分散補償器を有することを特徴とする光ファイバ通信システム。

【請求項 1 7】 光ファイバ伝送路に結合されており、上記複数の光信号のそれぞれについて異なる一定量の分散を補償するための静的分散補償手段を備えたことを特徴とする請求項 1 6 記載の光ファイバ通信システム。

【請求項 1 8】 可変分散補償手段は、光受信機に含まれ、多重分離された複数の光信号をそれぞれ分散補償する複数の光受信手段を有しており、

各光受信手段は、

入射する光信号の波長分散を検出し、検出した波長分散に応じた制御信号を出力する分散検出器と、

回折格子を有する光導波路、該光導波路の光軸に沿って設けられた複数のヒータ、および上記分散検出器から出力される制御信号に応じて複数のパルス電流を生成して上記複数のヒータにそれぞれ供給することにより上記回折格子に所望の



温度分布を生成するパルス電流供給手段を含む可変分散補償器と、

波長分散を補償すべき光信号を上記可変分散補償器へ導くとともに、上記可変分散補償器により補償された光信号を上記分散検出器へ導く光サーキュレータとを有していることを特徴とする請求項 1 6 または請求項 1 7 記載の光ファイバ通信システム。

【請求項 1 9】 可変分散補償器のパルス電流供給手段は、回折格子に生成される所望の温度分布に応じて複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパルス幅を調節するパルス幅制御手段を含むことを特徴とする請求項 1 6 から請求項 1 8 のうちのいずれか 1 項記載の光ファイバ通信システム。

【請求項 2 0】 可変分散補償器のパルス電流供給手段は、複数のパルス電流が異なる時間に複数のヒータにそれぞれ到達するように、上記複数のパルス電流を上記複数のヒータにそれぞれ供給することを特徴とする請求項 1 9 記載の光ファイバ通信システム。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

この発明は光ファイバ通信システム用の伝送路である光ファイバの波長分散を動的に補償するための可変分散補償器、並びに該可変分散補償器を含む光受信装置および光ファイバ通信システムに関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

近年、波長分割多重（WDM）システム等の光ファイバ通信システムにおいて、より多くの情報を運ぶために多数のチャネル（すなわち光信号）をより広い波長領域にわたって用いることが必要になってきており、これに伴い伝送路である光ファイバの波長分散（群遅延分散）をより精密に補償することが要求されている。光ファイバ中の波長分散は、光信号の異なる波長成分を異なる速度で伝搬させ、その結果、光信号のパルス波形を広げてしまう。例えば、光ファイバ通信システムに用いられるシングルモードファイバは、1 5 5 0 n m の波長の光信号に対して異常分散（負の群速度分散）を示し、その波長分散は正であり典型的には

ほぼ  $17 \text{ ps/nm/km}$  に等しい。すなわち、光信号の波長の短い方の成分は波長の長い方の成分より速く光ファイバ中を伝搬し、例えば  $1 \text{ nm}$  のスペクトル幅を有する光信号は、 $1 \text{ km}$  伝搬する度に、ほぼ  $17 \text{ ps}$  だけパルス幅が広がることになる。したがって、光ファイバ中を伝搬する光パルス列の隣接する2つのパルスは、高データレートでは互いに重なる可能性があり、このようなパルスの重なりはデータ伝送においてエラーを引き起こすことになる。

## 【0003】

このような光ファイバの波長分散を補償するために、伝送路である光ファイバの分散とは反対の符号の群速度分散を示す分散補償ファイバやチャープド回折格子を有する光ファイバ等の光導波路が開発されている。他方、光ファイバの温度変動、光ファイバの接続の変更、外力等による光ファイバの応力変化等により光ファイバ中での波長分散が時間とともに変化するという問題があるが、これらの従来の分散補償装置は、補償できる波長分散は一定であるので、このような問題には対処できないという欠点がある。特に、 $40 \text{ Gbit/s}$  の光ファイバ通信システムにおいては伝送路のわずかな状態変化が波長分散を変化させるので、動的な分散補償が必要であると予想されている。

## 【0004】

図12は上記のような問題を解決するために特開平10-221658号公報、特開2000-235170号公報、特開2000-252920号公報等の開示された従来の可変分散補償器の構成を示す図である。図において、2は格子ピッチ（すなわち格子周期）が連続的に変化しているチャープド回折格子が形成されている光導波路であり、3-1～3-nは光導波路2に所望の温度分布を生成するヒータであり、8-1～8-nはそれぞれ対応するヒータに電流を流すための電極である。

## 【0005】

次に動作について説明する。

光導波路2の入射／出射端に近いほど回折格子の格子ピッチはより長くブラッグ反射波長はより長いので、波長が長いほど光導波路2の入射／出射端により近いところで反射されて光導波路2を戻って入射／出射端から出射される。すなわ

ち、波長が短いほど光導波路 2 のより奥まで進入し、格子ピッチで決まるブラッグ反射波長と一致した点で反射される。したがって、光信号中の異なるスペクトル成分は、光導波路 2 の異なった場所で反射され異なった遅延時間を持つことになる。この結果、波長のより短い方の成分がより前方にあるパルス幅が広がった光信号が光導波路 2 に入射すると、光信号はパルス幅が圧縮されて光導波路 2 から出射する。

## 【0006】

光導波路 2 は石英ガラス等の温度に応じて屈折率が変化する材料から成る。したがって、複数の電極  $8-1 \sim 8-n$  を介して複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  に印加する電力を調整することにより光導波路 2 の長さ方向に所望の温度分布を得ることができる。複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  により光導波路 2 が所望の温度分布を有するように加熱されると、各ヒータにより加熱される光導波路 2 中に形成されたチャープド回折格子の各部分の格子ピッチおよび屈折率は変化する。この結果、チャープド回折格子の各部分のブラッグ反射長が変化し、光導波路 2 により入射した光信号に与えられる波長分散が変化する。

## 【0007】

ところで、上記の公開公報のいずれも、動的な分散補償のために複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  に印加する電力を調整する具体的な方法をなんら開示してはいない。例えば、各ヒータに直列に接続された抵抗の値を変化させて各ヒータに印加する電力を調整する方法が考え得る。この場合、各ヒータに可変抵抗を接続し、チャープド回折格子に生成すべき所望の温度分布に応じて可変抵抗の抵抗値を変化させ、各ヒータに投入する電力を調整する。

## 【0008】

図 13 は特開 2000-137197 号公報に開示された波長分散を動的に補償することが可能な従来の可変分散補償器の構成を示す図であり、図 14 は特開 2000-244394 号公報に開示されており、図 13 に示す可変分散補償器 91 を含む光ファイバ通信システムの構成を簡略的に示す図である。図 13 において、9 は厚さが光導波路 2 の長さ方向に沿って線形に変化する抵抗薄膜であり、27a, 27b は抵抗薄膜 9 へ電流を供給するための電極であり、28 は抵抗

薄膜 9 へ電極 27 a, 27 b を介して電流を供給する直流電源である。また、図 14 において、40 はそれぞれ情報を運ぶ波長の異なる複数の光信号を多重化して送信する光送信機であり、50 は多重化された光信号を運ぶための光ファイバ伝送路であり、90 は図 13 に示す可変分散補償器 91 と、光ファイバ伝送路 50 中を伝搬してきた光信号を可変分散補償器 91 へ導く光サーキュレータ 92 と、システム上を伝送されているデータの健全性をモニタし、可変分散補償器 91 へモニタしたデータの健全性をフィードバックするためのデータ健全性モニタ 93 とを備えた分散補償モジュールであり、100 は分散補償モジュール 90 により分散補償された多重化光信号を受信しこれを多重分離して複数の光信号を得て各光信号が運ぶ情報を復調する光受信機である。

## 【0009】

次に動作について説明する。

直流電源 28 は、電極 27 a, 27 b を介して抵抗薄膜 9 へ電流を供給する。この結果、抵抗薄膜 9 の局所的な抵抗に比例した割合で、光導波路 2 に沿って局所的な抵抗熱が発生する。この局所的な熱は、光導波路 2 内に形成された回折格子にチャープを生じさせる回折格子の長さ方向に沿った温度勾配を生成する。上記したように、抵抗薄膜 9 は、抵抗が光導波路 2 の長さ方向に沿って直線的に変化し、線形なチャープが達成できるように構成されている。

## 【0010】

光送信機 40 は、それぞれ情報を運ぶ波長の異なる複数の光信号を多重化して光ファイバ伝送路 50 へ送出する。上記したように、光ファイバ伝送路 50 は、 $1550\text{ nm}$  の波長の光信号に対して異常分散（負の群速度分散）を示し、その波長分散は典型的にはほぼ  $17\text{ ps/nm/km}$  に等しい。すなわち、多重化光信号の波長の短い方の成分は波長の長い方の成分よりより速く光ファイバ伝送路 50 中を伝搬し、光ファイバ伝送路 50 の長さが  $50\text{ km}$  であるならば、累積の波長分散は約  $850\text{ ps/nm}$  となる。図 14 に示す可変分散補償器 91 を含む分散補償モジュール 90 は、 $-300\text{ ps/nm} \sim -1350\text{ ps/nm}$  の範囲で連続的に波長分散を調節可能である。分散補償モジュール 90 により分散補償された多重化光信号はさらに光受信機 100 へ伝送される。光受信機 100 は、

受信した多重化光信号を多重分離して複数の光信号を得て各光信号が運ぶ情報を復調する。

#### 【0011】

##### 【発明が解決しようとする課題】

従来の可変分散補償器は以上のように構成されているので、チャープド回折格子を加熱する複数のヒータのそれぞれに印加する電力を調整するために各ヒータに直列に接続された抵抗においても電力が消費されるため、装置全体の消費電力が大きくなるという課題があった。

#### 【0012】

また、特開平10-221658号公報等の開示された従来の可変分散補償器は、複数のヒータ3-1～3-nに印加する電力を調整して所望の温度分布を得る具体的な方法をなんら開示していないが、時間とともに変化する光ファイバ中の波長分散に応じてチャープド回折格子の温度分布を実際にどのように制御するか、さらに、効率よく制御を実施するかは重大な課題である。

#### 【0013】

また、特開2000-137197号公報の開示された従来の可変分散補償器は、抵抗薄膜9に流す電流を調節することにより光導波路2に所望の温度勾配を与えるものであるが、光ファイバ伝送路50の状態変化に起因して補償すべき波長分散が変化した場合、光導波路2の分散補償の中心波長を維持しつつ温度勾配を変更するのが困難であるという課題があった。また、このような抵抗薄膜9を用いた従来の可変分散補償器は、ある一定の印加電圧に対して一つの決まった温度勾配しか生成することができず、熱伝導等により所望の温度勾配を得ることが困難であるうえに、チャープド回折格子を光導波路2に書き込む際の格子ピッチのばらつきに対処するのが困難であるという課題があった。さらに、このような従来の可変分散補償器を含む分散補償モジュール90により分散補償を行う従来の光ファイバ通信システムは、より多くの情報を運ぶために多数のチャネルをより広い波長領域にわたって用いており、そのために、光ファイバ伝送路50の波長分散の波長依存性が顕在化する。このように群遅延時間が波長に対して非線形に変化する場合、光導波路2に非線形な温度勾配を生成する必要があるが、特開

2 0 0 0 - 1 3 7 1 9 7 号公報に開示された従来の可変分散補償器は非線形な温度勾配を精度よく得るのが困難である上に、広い波長領域にわたって動的に分散補償を達成するのは困難であるという課題があった。

【 0 0 1 4 】

また、従来の光ファイバ通信システムでは、多重分離された各光信号は補償されずに残った残留分散および光受信機の非線形な影響による波長分散を含んでおり、さらに、その波長分散は時間とともに変化するので、光受信機において全ての時間にわたって受信した複数の光信号を全て完全に回復するのは困難であるという課題があった。

【 0 0 1 5 】

この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、チャープド回折格子に温度分布（すなわち温度勾配）を効率よく生成するとともに、時間とともに変化する光ファイバ伝送路の波長分散に応じて温度分布を変更して、動的に波長分散を補償することができる可変分散補償器および該可変分散補償器を備えた光受信装置を得ることを目的とする。

【 0 0 1 6 】

また、この発明は、波長分散が時間とともに変化する光ファイバ伝送路、光受信機を含むシステムにおいて、波長分散を効率よく、精密に且つ動的に補償する光ファイバ通信システムを得ることを目的とする。

【 0 0 1 7 】

【課題を解決するための手段】

この発明に係る可変分散補償器は、光導波路の光軸に沿って設けられた複数のヒータと、複数のパルス電流を生成して複数のヒータにそれぞれ供給することにより回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段とを備えたものである。

【 0 0 1 8 】

この発明に係る可変分散補償器は、回折格子がチャープド回折格子であるものである。

【 0 0 1 9 】

この発明に係る可変分散補償器は、パルス電流供給手段が、回折格子に生成される所望の温度分布に応じて複数のヒータにそれぞれ供給される複数のパルス電流のパルス幅を調節するパルス幅制御手段を含むものである。

## 【 0 0 2 0 】

この発明に係る可変分散補償器は、パルス電流供給手段が、複数のパルス電流が異なる時間に複数のヒータにそれぞれ到達するように、複数のパルス電流を複数のヒータにそれぞれ供給するものである。

## 【 0 0 2 1 】

この発明に係る可変分散補償器は、パルス電流供給手段が、複数のパルス電流を複数のグループに分割し、異なるグループのパルス電流が異なる時間に対応する複数のヒータにそれぞれ到達するように、複数のパルス電流を複数のヒータにそれぞれ供給するものである。

## 【 0 0 2 2 】

この発明に係る可変分散補償器は、パルス電流供給手段が、直流電源と、直流電源からの直流出力のノイズを除去して出力する E M I 除去フィルタと、 E M I 除去フィルタの出力から複数のパルス電流を生成するスイッチング手段とを備えたものである。

## 【 0 0 2 3 】

この発明に係る可変分散補償器は、パルス幅制御手段が、光導波路の光軸に沿って複数のヒータが並んでいる順に複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパルス幅を増大または減少させるものである。

## 【 0 0 2 4 】

この発明に係る可変分散補償器は、光導波路の光軸に沿って複数のヒータが並んでいる順に複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパルス幅が線形に増大または減少するものである。

## 【 0 0 2 5 】

この発明に係る可変分散補償器は、パルス幅制御手段が、初期値およびパルス幅増加値に基づき複数のヒータのそれぞれに供給すべきパルス電流のパルス幅を決定するパルス幅決定手段を有するものである。

## 【 0 0 2 6 】

この発明に係る可変分散補償器は、パルス幅制御手段が、複数のヒータについてそれぞれ予め設定された複数の補正係数を用いて、パルス幅決定手段により決定された複数のパルス電流のパルス幅を補正する補正手段を有するものである。

## 【 0 0 2 7 】

この発明に係る可変分散補償器は、光導波路の光軸に沿って複数のヒータが並んでいる順に複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパルス幅が非線形に増大または減少するものである。

## 【 0 0 2 8 】

この発明に係る可変分散補償器は、パルス幅制御手段が、初期値、パルス幅増加値および複数のヒータについてそれぞれ予め設定された複数の補正係数に基づき複数のヒータのそれぞれに供給すべきパルス電流のパルス幅を決定するパルス幅決定手段を有するものである。

## 【 0 0 2 9 】

この発明に係る光受信装置は、入射する光信号の波長分散を検出し、検出した波長分散に応じた制御信号を出力する分散検出器と、分散検出器から出力される制御信号に応じて複数のパルス電流を生成して光導波路の光軸に沿って設けられた複数のヒータにそれぞれ供給することにより回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段を含む可変分散補償器と、分散を補償すべき光信号を可変分散補償器へ導くとともに、可変分散補償器により補償された光信号を分散検出器へ導く光サーキュレータとを備えたものである。

## 【 0 0 3 0 】

この発明に係る光受信装置は、可変分散補償器のパルス電流供給手段が、回折格子に生成される所望の温度分布に応じて複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパルス幅を調節するパルス幅制御手段を含むものである。

## 【 0 0 3 1 】

この発明に係る光受信装置は、可変分散補償器のパルス電流供給手段が、複数のパルス電流が異なる時間に複数のヒータにそれぞれ到達するように、複数のパルス電流を複数のヒータにそれぞれ供給するものである。



## 【 0 0 3 2 】

この発明に係る光ファイバ通信システムは、光ファイバ伝送路を介して光送信機から送信され多重化された複数の光信号を多重分離して各光信号が運ぶ情報を復調する光受信機と、複数の光信号の分散を補償する可変分散補償手段であって、回折格子を有する光導波路と、この光導波路の光軸に沿って設けられた複数のヒータと、複数のパルス電流を生成して複数のヒータにそれぞれ供給することにより回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段とを備えた少なくとも1つの可変分散補償器を有する可変分散補償手段とを備えたものである。

## 【 0 0 3 3 】

この発明に係る光ファイバ通信システムは、光ファイバ伝送路に結合されており、光送信機により多重化された複数の光信号のそれぞれについて異なる一定量の分散を補償するための静的分散補償手段を備えたものである。

## 【 0 0 3 4 】

この発明に係る光ファイバ通信システムは、可変分散補償手段が、光受信機に含まれ、多重分離された複数の光信号をそれぞれ分散補償する複数の光受信手段を有しており、各光受信手段が、入射する光信号の波長分散を検出し、検出した波長分散に応じた制御信号を出力する分散検出器と、分散検出器から出力される制御信号に応じて複数のパルス電流を生成して光導波路の光軸に沿って設けられた複数のヒータにそれぞれ供給することにより回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段を含む可変分散補償器と、分散を補償すべき光信号を可変分散補償器へ導くとともに、可変分散補償器により補償された光信号を分散検出器へ導く光サーキュレータとを有しているものである。

## 【 0 0 3 5 】

この発明に係る光ファイバ通信システムは、可変分散補償器のパルス電流供給手段が、回折格子に生成される所望の温度分布に応じて複数のヒータにそれぞれ供給する複数のパルス電流のパルス幅を調節するパルス幅制御手段を含むものである。

## 【 0 0 3 6 】

この発明に係る光ファイバ通信システムは、可変分散補償器のパルス電流供給

手段が、複数のパルス電流が異なる時間に複数のヒータにそれぞれ到達するように、複数のパルス電流を複数のヒータにそれぞれ供給するものである。

【 0 0 3 7 】

【発明の実施の形態】

以下、この発明の実施の形態を説明する。

実施の形態 1 .

図 1 はこの発明の実施の形態 1 による可変分散補償器および該可変分散補償器を備えた光受信装置の構成を示すブロック図である。図において、1 は可変分散補償器であり、2 は格子ピッチが連続的に変化しているチャープド回折格子が形成されている光ファイバ等の光導波路であり、3 - 1 ~ 3 - n はそれぞれヒータであり、4 は複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n が共通に接続された共通アース端子であり、10 は光導波路 2 の長さ方向すなわち光軸方向に所望の温度分布（温度勾配）を生成すべく複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n のそれぞれにパルス電流を供給するパルス電流供給回路（パルス電流供給手段）である。

【 0 0 3 8 】

図 2 は光導波路 2 および複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n を示す斜視図である。複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n は、それぞれニッケルやタングステン等の金属の薄膜から成る。光導波路 2 が据え置かれる絶縁材料から成る基板 7 上にニッケルやタングステン等の金属を蒸着することにより、複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n は形成される。図 2 に示すように、チャープド回折格子が形成された光導波路 2 の光軸に沿って複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n が並ぶように、光導波路 2 は基板 7 上に取り付けられる。

【 0 0 3 9 】

パルス電流供給回路 10 は、後で述べるように、所定の繰り返し周波数の基準信号に基づいて、それぞれ異なったパルス幅を有する複数の電流パルスを発生し、これらを複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n にそれぞれ供給する。このために、図 2 に示すように、図 1 に示すパルス電流供給回路 10 と複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n の一端とを接続するためにこれらヒータの数に等しい数の電極 8 - 1 ~ 8 - n が設けられている。一方、上記したように、複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n の他端

は共通アース端子4に接続されている。

【0040】

また、図1において、5は入射した光信号の波長分散に対応する物理量を検出して、検出した物理量に相当する値を有する制御信号をパルス電流供給回路10へ送出するとともに入射した光信号を光信号が運ぶ情報を復調するための復調器（図示せず）等へ出射する分散検出器であり、6は光ファイバ伝送路（図示せず）を伝搬してきた光信号を光導波路2へ導くとともに、光導波路2から出射された光信号を分散検出器5へ導く光サーキュレータである。

【0041】

この発明の実施の形態1による可変分散補償器1は、光導波路2、複数のヒータ3-1～3-n、共通アース端子4およびパルス電流供給回路10を備えている。また、この発明の実施の形態1による光受信装置は、可変分散補償器1、分散検出器5および光サーキュレータ6を備えている。

【0042】

図3はこの実施の形態1による可変分散補償器1のパルス電流供給回路10の構成を示すブロック図である。図において、11は複数のヒータ3-1～3-nへ直流電流を供給する直流電源であり、12は直流電源11からの直流電流に含まれるスイッチングノイズを除去するEMI除去フィルタであり、13は印加される複数の制御パルスに応じて、複数のパルス電流を生成して複数のヒータ3-1～3-nにそれぞれ供給するパルス電流発生部（スイッチング手段）である。パルス電流発生部13は、共通アース端子4とEMI除去フィルタ12との間に並列に接続された複数のヒータ3-1～3-nにそれぞれ直列に接続された複数のスイッチ14-1～14-nを備えている。各スイッチ14-i（i=1～n）は、制御パルスを受信するための制御端子15-iを備えており、制御パルスを受信している間のみオンとなる。したがって、各スイッチ14-i（i=1～n）は、印加される制御パルスのパルス幅に等しいパルス幅を有するパルス電流を生成して対応するヒータ3-iへ供給する。各スイッチ14-i（i=1～n）は、具体的には、トランジスタ等のスイッチング素子である。

【0043】

図3において、16はパルス電流発生部13が発生する複数のパルス電流のパルス幅を調節すべくパルス電流発生部13へ供給する複数の制御パルスを生成する制御パルス発生部（パルス幅制御手段）であり、17は最も小さいパルス幅を有するパルス電流のパルス幅を決定するための初期値 $PW_0$ を記憶する初期値記憶部であり、18は初期値 $PW_0$ とともに複数のパルス電流のパルス幅を決定するためのパルス幅増分値 $\Delta PW$ を記憶するパルス幅増分値記憶部であり、19は初期値 $PW_0$ およびパルス幅増分値 $\Delta PW$ により決まる複数のパルス電流のパルス幅をそれぞれ補正するための補正係数 $C_1 \sim C_n$ を記憶するための補正係数記憶部であり、20は図1の分散検出器5から印加される制御信号に応じて制御パルス発生部16を制御するマイクロプロセッサ等の制御部である。制御部20は、分散検出器5からの制御信号にしたがい、初期値 $PW_0$ 、パルス幅増分値 $\Delta PW$ 、および補正係数 $C_1 \sim C_n$ を決定し、初期値記憶部17、パルス幅増分値記憶部18、および補正係数記憶部19に初期値 $PW_0$ 、パルス幅増分値 $\Delta PW$ 、および補正係数 $C_1 \sim C_n$ をそれぞれ書き込むことができる。

#### 【0044】

また21-2は初期値記憶部17に記憶されている初期値 $PW_0$ とパルス幅増分値記憶部18に記憶されているパルス幅増分値 $\Delta PW$ とを加算する加算器であり、21-i ( $i=3 \sim n$ )は加算器21-(i-1)の加算結果とパルス幅増分値記憶部18に記憶されているパルス幅増分値 $\Delta PW$ とを加算する加算器である。したがって、加算器21-i ( $i=2 \sim n$ )は、 $(PW_0 + \Delta PW * (i-1))$ を加算結果として出力する。さらに、22-1は初期値記憶部17に記憶されている初期値 $PW_0$ に補正係数記憶部19に記憶されている補正係数 $C_1$ を乗じる乗算器であり、22-i ( $i=2 \sim n$ )は加算器21-iの加算結果に補正係数記憶部19に記憶されている補正係数 $C_i$ を乗じる乗算器であり、23は所定の繰り返し周波数の基準信号を生成する基準信号発生器であり、24-i ( $i=1 \sim n$ )は基準信号発生器23から印加される基準信号に基づいて乗算器22-iの乗算結果に応じたパルス幅を有する制御パルスを生成するパルス発生器である。なお、パルス幅決定手段は、初期値記憶部17、パルス幅増分値記憶部18、補正係数記憶部19、制御部20、加算器21-2 $\sim$ 21-n、および乗

算器  $22-1 \sim 22-n$  により実現され、補正手段は、補正係数記憶部 19、制御部 20、および乗算器  $22-1 \sim 22-n$  により実現される。

#### 【0045】

次に動作について説明する。

既に述べたように、光ファイバ通信システムにおいて、光ファイバ中を伝搬する光信号のパルス幅は、光ファイバの波長分散により、光ファイバ中を伝搬するにつれて広がる。例えば、光ファイバ通信システムに用いられる通常の光ファイバは、 $1550\text{ nm}$ の波長の光信号に対して異常分散（負の群速度分散）を示し、その波長分散は正であり典型的にはほぼ  $17\text{ ps/nm/km}$  に等しい。光ファイバの長さが  $100\text{ km}$  であるならば、累積された波長分散は約  $1700\text{ ps/nm}$  になる。したがって、可変分散補償器 1 を用いる際には、このような補償すべき累積の波長分散を予め把握しておく必要がある。このために、図 1 に示した分散検出器 5 を用いて、可変分散補償器 1 から出射される光信号の波長分散に対応する物理量が計測される。この量に基づき、光導波路 2 に与えるべき温度分布、すなわち、初期値  $PW_0$ 、パルス幅増分値  $\Delta PW$  および補正係数  $C_1 \sim C_n$  が予め決定される。具体的には、分散検出器 5 を用いて検出した波長分散に対応する物理量が所定の値（例えば最小値）になるように、初期値  $PW_0$ 、パルス幅増分値  $\Delta PW$  および補正係数  $C_1 \sim C_n$  が予め決定される。

#### 【0046】

補償すべき波長分散が波長に依存していないとみなせる場合（すなわち、群遅延時間が波長に対して線形に変化するとみなせるほど狭い波長帯域の光信号が可変分散補償器 1 に入射する場合）、光導波路 2 に与えるべき温度分布は線形であればよい。したがって、この場合、各パルス電流のパルス幅を決定する制御パルスの幅は、初期値  $PW_0$  およびパルス幅増分値  $\Delta PW$  により決定され、各乗算器  $22-i$  には補正係数  $C_i$  として 1 が設定される。図 4 は各乗算器  $22-i$  に設定する補正係数  $C_i$  が 1 である場合におけるパルス電流供給回路 10 が生成する複数のパルス電流の波形を示すタイミングチャートである。図 4 に示すように、この実施の形態 1 による可変分散補償器 1 のパルス電流供給回路 10 は、典型的には、同一の繰り返し周波数を有し光導波路 2 の光軸に沿って形成されたヒータ

$3-1, 3-2, \dots, 3-n$ の順にパルス幅が線形的に増大する複数のパルス電流を同一の時間に生成し、複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  にそれぞれ供給する。この際、複数のパルス電流をトリガーする複数の制御パルスの立ち上がりは、全て、制御パルス発生部 16 の基準信号発生器 23 により生成される基準信号の立ち上がりによりトリガーされる。

## 【0047】

図4に示すような複数のパルス電流が複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  にそれぞれ印加された場合、光導波路2の奥にいくにしたがって線形に増大する温度分布が光導波路2内にその光軸に沿って生成される。この場合、可変分散補償器1は、入射した光信号に負の波長分散（群遅延分散）を与える。すなわち、波長の短い成分ほど多くの遅延を受けて可変分散補償器1から出射される。なお、パルス電流供給回路10は、同一の繰り返し周波数を有し光導波路2の光軸に沿って形成されたヒータ  $3-1, 3-2, \dots, 3-n$  の順にパルス幅が線形的に減少する複数のパルス電流を同一の時間に生成し、複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  にそれぞれ供給するようにしてもよい。この場合、光導波路2の奥にいくにしたがって線形に減少する温度分布が光導波路2内にその光軸に沿って生成される。

## 【0048】

しかしながら、図4に示すような順次パルス幅が線形的に増大する複数のパルス電流を複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  にそれぞれ供給したとしても、通常、熱伝導等により所望の線形な温度分布は得られない。この場合、各乗算器  $22-i$  に1以外の補正係数  $C_i$  が設定される。補正係数  $C_i$  を決定するために、光導波路2の温度分布が実測される。この実測された温度分布に基づき、パルス幅の補正が必要なパルス電流に対応する乗算器  $22-i$  には1以外の補正係数  $C_i$  が設定される。

## 【0049】

また、補償すべき波長分散が波長に依存して変化する場合（すなわち、群遅延時間が波長に対して線形に変化しているとみなせない広波長帯域の光信号が入射する場合）、光導波路2に与えるべき温度分布は非線形である必要がある。波長分散の波長依存性は、ある傾きをもつ直線によって表され、この傾きは、シング

ルモードファイバの場合、 $0.06 \text{ ps} / (\text{nm}^2 \cdot \text{km})$  である。したがって、このような光ファイバ中を  $100 \text{ km}$  伝搬する度に、 $1 \text{ nm}$  波長が異なる 2 つのスペクトル成分は  $6 \text{ ps} / \text{nm}$  だけ累積の波長分散が異なることになる。このような場合、1 以外の値を有する補正係数  $C_i$  を各乗算器  $22-i$  に設定することが好ましい。図 5 は各乗算器  $22-i$  に設定する補正係数  $C_i$  が 1 以外の値である場合におけるパルス電流供給回路 10 が生成する複数のパルス電流の波形の一例を示すタイミングチャートである。

## 【0050】

ところで、チャープド回折格子は、必ずしも設計通りの格子ピッチを有していない。チャープド回折格子を光導波路 2 に書き込む際の誤差により格子ピッチは所望の値からずれてしまう。したがって、補償すべき波長分散が波長に依存していないとみなせる場合においても、光導波路 2 に与えるべき温度分布を理想的な線形な分布からずらす必要がある。この場合、分散検出器 5 を用いて検出した波長分散に対応する物理量が所定の値（例えば最小値）になるように、乗算器  $22-i$  に設定される  $C_i$  が予め決定される。

## 【0051】

次にこの実施の形態 1 による光受信装置の動的な分散補償について説明する。

$40 \text{ Gbit/s}$  光ファイバ通信システムにおいて、伝送路である光ファイバのわずかな状態変化に応じた動的な分散補償の必要性があると予想されているが、このような場合において、この実施の形態 1 による光受信装置は容易に波長分散を動的に補償することができる。図 1 の分散検出器 5 は、所定の時間間隔で、入射する光信号の波長分散に対応する物理量を検出し、検出した物理量に相当する値を有する制御信号をパルス電流供給回路 10 の制御パルス発生部 16 へ送出する。制御パルス発生部 16 の制御部 20 は、受信した制御信号にしたがい、光導波路 2 の温度分布を変更する必要があるか否かを判断する。光導波路 2 の温度分布を変更する必要がある場合、制御部 20 は、初期値記憶部 17 に記憶されている初期値  $PW_0$ 、パルス幅増分値記憶部 18 に記憶されているパルス幅増分値  $\Delta PW$  および補正係数記憶部 19 に記憶されている補正係数  $C_1 \sim C_n$  を変更する。なお、どのように初期値  $PW_0$ 、パルス幅増分値  $\Delta PW$  および補正係数  $C_1$

$\sim C_n$  を変更するかは予め実験等により決定される。

【 0 0 5 2 】

この結果、パルス発生器 2 4 - 1  $\sim$  2 4 - n が生成する制御パルスのパルス幅が変更され、ヒータ 3 - 1  $\sim$  3 - n に供給されるパルス電流のパルス幅が変更される。そして、最終的に、光導波路 2 の光軸に沿った温度分布が変更される。このようにして、光受信装置は波長分散を動的に補償することができる。図 6 は、補償すべき波長分散が波長に依存していないとみなすことができ、光ファイバ伝送路の状態変化によりその波長分散が変化した場合に、その変化に応じてなされる光導波路 2 の温度分布の変更の例を示す図である。制御パルス発生部 1 6 の制御部 2 0 は、光導波路 2 の中点の温度を維持しつつ、図に示すように温度分布を A から B へ変化させるべく、初期値  $PW_0$ 、パルス幅増分値  $\Delta PW$  および補正係数  $C_1 \sim C_n$  を変更する。温度分布を変更する際に光導波路 2 の中点の温度を維持するのは、可変分散補償器 1 による分散補償の中心波長を一定に維持するためである。なお、光導波路 2 の中点の温度を維持するための手段として、熱電素子等を用いて図 2 に示す基板 7 の温度を制御する方法も考えられる。

【 0 0 5 3 】

補償すべき光信号の波長分散（群遅延分散）が負である場合、可変分散補償器 1 は、入射した光信号に負の波長分散を与える代わりに、正の波長分散を与えるように構成される。この場合、可変分散補償器 1 の光導波路 2 の入射／出射端に近いほど回折格子の格子ピッチはより短くブラッグ反射波長はより短くなるように形成される。したがって、波長が短いほど光導波路 2 の入射／出射端により近いところで反射されて光導波路 2 を戻って入射／出射端から出射される。すなわち、波長が長いほど光導波路 2 のより奥まで進入し、格子ピッチで決まるブラッグ反射波長と一致した点で反射される。その結果、波長の長い成分ほど多くの遅延を受けて可変分散補償器 1 から出射される。

【 0 0 5 4 】

以上のように、この実施の形態 1 によれば、可変分散補償器 1 は、光導波路 2 の光軸に沿って設けられた複数のヒータ 3 - 1  $\sim$  3 - n と、入射した光信号の時間とともに変化し得る波長分散をチャープド回折格子が形成された光導波路 2 に



動的に補償させるべく、複数のパルス電流を生成して複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  にそれぞれ供給することにより光導波路 2 に所望の温度分布を生成するパルス電流供給回路 10 とを備えているので、各ヒータに直列に接続された抵抗の値を制御する場合に比べて、効率よく分散補償ができる効果がある。さらに、可変分散補償器 1 を備えた光受信装置は、分散検出器 5 により検出された波長分散に応じて複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  にそれぞれ供給すべき複数のパルス電流のパルス幅を変化させることにより素早く光導波路 2 の温度分布を変更できるので、応答性に優れた動的な分散補償を可能にする効果がある。

## 【 0 0 5 5 】

実施の形態 2.

図 7 はこの発明の実施の形態 2 による可変分散補償器のパルス電流供給回路 10 の構成を示すブロック図である。図において、図 3 に示すものと同一の符号は上記実施の形態 1 によるものと同一または相当する構成要素を示しており、以下ではその説明を省略する。

## 【 0 0 5 6 】

この実施の形態 2 によれば、パルス電流供給回路 10 は、生成した複数のパルス電流が異なった時間に複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  にそれぞれ到達するように、複数のヒータ  $3-1 \sim 3-n$  に複数のパルス電流をそれぞれ供給するように構成されている。なお、この実施の形態 2 による可変分散補償器および該可変分散補償器を備えた光受信装置は上記実施の形態 1 によるものと同一の構成を有している。

## 【 0 0 5 7 】

図 7 に示すように、所定の繰り返し周波数の基準信号を生成する基準信号発生器 23 は、光導波路 2 の入射／出射端に最も近いヒータ  $3-1$  に供給されるパルス電流のパルス幅を決定する制御パルスを生成するパルス発生器 24-1 に接続されている。これにより、パルス発生器 24-1 は、印加される基準信号の立ち上がりに対応して、制御パルスを生成する。また、パルス発生器 24-i ( $i = 1 \sim n-1$ ) は、隣接するパルス発生器 24-( $i+1$ ) に接続されている。これにより、パルス発生器 24-i ( $i = 2 \sim n$ ) は、隣接するパルス発生器 24

— (i - 1) から印加される制御パルスの立ち下がりに応答して、制御パルスを生成する。

#### 【 0 0 5 8 】

次に動作について説明する。

この実施の形態 2 による可変分散補償器および光受信装置は、基本的には、上記実施の形態 1 によるものと同様に動作するので、以下では異なる部分についてのみ説明する。

#### 【 0 0 5 9 】

図 8 は各乗算器 2 2 - i に設定する補正係数  $C_i$  が 1 である場合におけるパルス電流供給回路 1 0 が生成する複数のパルス電流の波形を示すタイミングチャートである。図 8 に示すように、この実施の形態 2 による可変分散補償器のパルス電流供給回路 1 0 は、典型的には、同一の繰り返し周波数を有し光導波路 2 の光軸に沿って形成されたヒータ 3 - 1, 3 - 2, . . . , 3 - n の順にパルス幅が線形的に増大する複数のパルス電流を異なる時間にそれぞれ生成する。したがって、生成された複数のパルス電流は異なる時間に複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n にそれぞれ到達する。この際、光導波路 2 の入射／出射端に最も近いヒータ 3 - 1 に供給されるパルス電流のパルス幅を決定する制御パルスの立ち上がりは、上記したように、基準信号発生部 2 3 により生成される基準信号の立ち上がりによりトリガーされ、それ以外のヒータ 3 - i ( $i = 2 \sim n$ ) に供給されるパルス電流のパルス幅を決定する制御パルスの立ち上がりは、ヒータ 3 - (i - 1) に供給されるパルス電流のパルス幅を決定する制御パルスの立ち下がりによりトリガーされる。

#### 【 0 0 6 0 】

なお、この実施の形態 2 においても、線形な温度分布のずれの補正、非線形な温度分布の設定、チャープド回折格子の格子ピッチの誤差による温度分布のずれの補正のために補正係数  $C_i$  を 1 以外の値に設定してもよいのは言うまでもない。

#### 【 0 0 6 1 】

以上のように、この実施の形態 2 によれば、可変分散補償器 1 は、複数のヒ-

タ 3-1 ~ 3-n に複数のパルス電流がそれぞれ異なる時間に到達するように複数のヒータ 3-1 ~ 3-n に複数のパルス電流をそれぞれ供給するパルス電流供給回路 10 を備えているので、上記実施の形態 1 に比べてパルス電流供給回路 10 から複数のヒータ 3-1 ~ 3-n に流れる電流のピーク値を下げるができる。したがって、電力供給源である直流電源 11 の負担を軽減でき且つスイッチングノイズ除去のために用いられる EMI 除去フィルタ 12 を小型化できる効果がある。

## 【 0 0 6 2 】

実施の形態 3.

図 9 はこの実施の形態 3 による可変分散補償器のパルス電流供給回路 10 の構成を示すブロック図である。図において、図 3 に示すものと同一の符号は上記実施の形態 1 によるものと同一または相当する構成要素を示しており、以下ではその説明を省略する。また、図 9 において、25 は基準信号発生器 23 により生成された基準信号を所定の時間遅延した後出力する第 1 の遅延回路であり、26 は第 1 の遅延回路 25 の出力を所定の時間遅延した後出力する第 2 の遅延回路である。

## 【 0 0 6 3 】

この実施の形態 3 によれば、複数のヒータ 3-1 ~ 3-n は、複数のグループ（図示の例では 3 つのグループ）に分割されており、パルス電流供給回路 10 は、グループ毎に異なった時間に複数のパルス電流が複数のヒータ 3-1 ~ 3-n に到達するように、複数のヒータ 3-1 ~ 3-n に複数のパルス電流をそれぞれ供給する。なお、この実施の形態 3 による可変分散補償器および該可変分散補償器を備えた光受信装置は上記実施の形態 1 によるものと同一の構成を有している。

## 【 0 0 6 4 】

図 9 に示すように、所定の繰り返し周波数の基準信号を生成する基準信号発生器 23 は、パルス発生器 24-1, 24-4, 24-7, . . . に接続されている。これにより、これらのパルス発生器は、それぞれ、印加される基準信号の立ち上がりに対応して、制御パルスを生成する。また、基準信号を所定の時間遅延

する第 1 の遅延回路 2 5 は、パルス発生器 2 4 - 2, 2 4 - 5, 2 4 - 8, . . . に接続されている。これにより、これらのパルス発生器は、それぞれ、第 1 の遅延回路 2 5 の出力の立ち上がりに応答して、制御パルスを生成する。さらに、第 1 の遅延回路 2 5 の出力を所定の時間遅延する第 2 の遅延回路 2 6 は、パルス発生器 2 4 - 3, 2 4 - 6, 2 4 - 9, . . . に接続されている。これにより、これらのパルス発生器は、それぞれ、第 2 の遅延回路 2 6 の出力の立ち上がりに応答して、制御パルスを生成する。

## 【 0 0 6 5 】

次に動作について説明する。

この実施の形態 3 による可変分散補償器および光受信装置は、基本的には、上記実施の形態 1 によるものと同様に動作するので、以下では異なる部分についてのみ説明する。また、以下では、複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n を 3 つのグループに分割する場合について例示する。

## 【 0 0 6 6 】

第 1 および第 2 の遅延回路 2 5, 2 6 は、それぞれ基準信号発生器 2 3 から出力される基準信号の繰り返し周期  $T$  の  $1/3$  に等しい時間分入力信号を遅延して出力する。図 1 0 は、この場合においてパルス電流供給回路 1 0 が生成する複数のパルス電流の波形を示すタイミングチャートである。但し、図 1 0 は、各乗算器 2 2 -  $i$  に設定する補正係数  $C_i$  が 1 である場合の例について示している。図 1 0 に示すように、この実施の形態 3 による可変分散補償器のパルス電流供給回路 1 0 は、同一の繰り返し周波数を有し順次パルス幅が線形的に増大する複数のパルス電流を 3 つのグループに分けてグループ毎に異なる時間に生成し、複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n に複数のパルス電流をそれぞれ供給する。この際、ヒータ 3 - 1, 3 - 4, 3 - 7, . . . に供給されるパルス電流のパルス幅を決定する制御パルスの立ち上がりは、上記したように、基準信号発生部 2 3 により生成される基準信号の立ち上がりによりトリガーされ、ヒータ 3 - 2, 3 - 5, 3 - 8, . . . に供給されるパルス電流のパルス幅を決定する制御パルスの立ち上がりは、上記したように、基準信号に対して  $T/3$  だけ遅延している第 1 の遅延回路 2 5 の出力の立ち上がりによりトリガーされ、ヒータ 3 - 3, 3 - 6, 3 - 9,

．．． に供給されるパルス電流のパルス幅を決定する制御パルスの立ち上がりは、上記したように、第 1 の遅延回路 2 5 の出力に対して  $T/3$ （すなわち基準信号に対して  $2T/3$ ）だけ遅延している第 2 の遅延回路 2 6 の出力の立ち上がりによりトリガーされる。

## 【 0 0 6 7 】

なお、この実施の形態 3 においても、線形な温度分布のずれの補正、非線形な温度分布の設定、チャープド回折格子の格子ピッチの誤差による温度分布のずれの補正のために補正係数  $C_i$  を 1 以外の値に設定してもよいのは言うまでもない。

## 【 0 0 6 8 】

以上のように、この実施の形態 3 によれば、可変分散補償器 1 は、複数のパルス電流を複数のグループに分けてグループ毎に異なる時間に生成し、複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n にそれぞれ供給するパルス電流供給回路 1 0 を備えているので、上記実施の形態 2 と同様に、上記実施の形態 1 に比べてパルス電流供給回路 1 0 から複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n に流れる回路電流のピーク値を下げるができる。したがって、電力供給源である直流電源 1 1 の負担を軽減でき且つスイッチングノイズ除去のために用いられる EMI 除去フィルタ 1 2 を小型化できる効果がある。この場合、複数のパルス電流をグループ分けする分割数を大きくすればするほど、回路電流のピーク値をより下げることが可能であるが、制御性を考慮すると分割数は小さい方が好ましい。したがって、回路電流のピーク値が目標値になるような必要最低限の分割数に留めるのが望ましい。

## 【 0 0 6 9 】

実施の形態 4 .

図 1 1 はこの発明の実施の形態 4 による光ファイバ通信システムの構成を簡略的に示すブロック図である。図において、4 0 はそれぞれ情報を運ぶ波長の異なる複数の光信号を多重化して送信する光送信機であり、5 0 は光信号を運ぶための典型的にはシングルモードファイバである光ファイバ伝送路であり、6 0 は光ファイバ伝送路 5 0 に結合されており、光ファイバ伝送路 5 0 を介して伝送される複数の光信号のそれぞれについて異なる一定量の波長分散を補償する静的分散

補償器（静的分散補償手段）であり、70は静的分散補償器60により分散補償された多重化光信号を受信しこれを多重分離して複数の光信号を得て各光信号が運ぶ情報を復調する光受信機であり、71-1～71-mは光受信機70に設けられており、多重分離された複数の光信号の残留分散等の波長分散をそれぞれ動的に補償する可変分散補償器1、分散検出器5および光サーキュレータ6を含む、上記実施の形態1から実施の形態3のうちのいずれか1つによる光受信装置と同一の構成を有する光受信部（光受信手段）である。なお、図11において、公知の光増幅器等は図示されていない。なお、この実施の形態4において、可変分散補償手段は複数の光受信部71-1～71-mにより実現される。

## 【0070】

この実施の形態4による光ファイバ通信システムは、典型的には、数10の異なる波長の光信号を多重化して伝送する40Gbit/sあるいはそれ以上のWDMシステムであるが、これに限定されるものではない。

## 【0071】

既に述べたように、シングルモードファイバである光ファイバ伝送路50は、1550nmの波長の光信号に対して異常分散（負の群速度分散）を示し、波長分散は典型的にはほぼ $17\text{ ps/nm/km}$ に等しい。すなわち、多重化光信号の波長の短い方の成分は波長の長い方の成分よりより速く光ファイバ伝送路50中を伝搬し、光ファイバ伝送路50の長さが100kmであるならば、波長分散は約 $1700\text{ ps/nm}$ となる。したがって、例えば1nmの波長帯域を有する1550nmの光信号は、光ファイバ伝送路50中を100km移動する度に約1700psパルス幅が広がる。

## 【0072】

静的分散補償器60は、光ファイバ伝送路50中の波長分散を大雑把に補償するために設けられており、典型的には、1つ以上の分散補償ファイバを含む。分散補償ファイバの場合、波長分散は典型的には約 $-100\text{ ps/nm/km}$ である。例えば、光ファイバ伝送路50中に100km毎に約1700psの波長分散を補償する1つの分散補償ファイバが設けられる。一方、既に述べたように、光ファイバの波長分散は波長に依存しており、その波長依存性はある傾きを持つ

直線により表され、この傾きは、光ファイバ伝送路 5 0 の場合、典型的には、 $0.06 \text{ ps} / (\text{nm}^2 \cdot \text{km})$  であり、分散補償ファイバの場合、典型的には、 $-0.2 \text{ ps} / (\text{nm}^2 \cdot \text{km})$  である。したがって、静的分散補償器 6 0 を特定の波長帯域の光信号について波長分散を補償するように設定しても、他の波長帯域の光信号について同様に波長分散を補償することはできない。それ故、静的分散補償器 6 0 は、使用される全波長領域にわたり広帯域に光ファイバ伝送路 5 0 の波長分散をほぼ補償するように設定される。なお、静的分散補償器 6 0 は、分散補償ファイバに限定されるものではなく、チャープド回折格子が形成された光ファイバ等の光導波路であってもかまわない。

## 【 0 0 7 3 】

光受信機 7 0 に設けられた複数の光受信部 7 1 - 1 ~ 7 1 - m のそれぞれに含まれる可変分散補償器 1 は、入射される特定のチャネルの光信号の残留分散および光受信機 7 0 の波長分散を動的に分散補償するように構成される。

## 【 0 0 7 4 】

次に動作について説明する。

光送信機 4 0 は、それぞれ情報を運ぶ波長の異なる複数の光信号を多重化して光ファイバ伝送路 5 0 へ送出する。上記したように、光ファイバ伝送路 5 0 は、 $1550 \text{ nm}$  の波長の光に対して異常分散（負の群速度分散）を示し、波長分散は典型的にはほぼ  $17 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  に等しい。したがって、光ファイバ伝送路 5 0 の累積の波長分散は、 $100 \text{ km}$  毎に  $1550 \text{ nm}$  の波長に対して約  $1700 \text{ ps} / \text{nm}$  となる。一方、静的分散補償器 6 0 は典型的には約  $-100 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  の波長分散を有する分散補償ファイバである。したがって、 $1550 \text{ nm}$  の波長に対する約  $1700 \text{ ps} / \text{nm}$  の波長分散を補償するために、光ファイバ伝送路  $100 \text{ km}$  毎に  $17 \text{ km}$  の分散補償ファイバが必要となる。

## 【 0 0 7 5 】

上記したように、静的分散補償器 6 0 は、光ファイバ伝送路 5 0 中の波長分散を使用される全波長領域にわたってほぼ補償する。すなわち、静的分散補償器 6 0 は、光ファイバ伝送路 5 0 中の波長分散を完全に補償することはできず、静的分散補償器 6 0 を通過した多重化された複数の光信号のそれぞれは残留分散を含

んでいる。また、光ファイバ伝送路 5 0 の状態変化に伴い波長分散は時間とともに変化しており、静的分散補償器 6 0 はこのような波長分散の変動を補償することはできない。

#### 【 0 0 7 6 】

静的分散補償器 6 0 により静的に且つ大雑把に分散補償された多重化光信号はさらに光受信機 7 0 へ伝送される。光受信機 7 0 は、受信した多重化光信号を多重分離して複数の光信号を得る。この際、各光信号は、残留分散に加えて、光受信機 7 0 による非線形的な影響による波長分散をさらに含むことになる。

#### 【 0 0 7 7 】

光受信機 7 0 に設けられた複数の光受信部 7 1 - 1 ~ 7 1 - m は、得られた複数の光信号の波長分散をそれぞれ動的に補償する。各光受信部は、上記したように、上記実施の形態 1 から実施の形態 3 のうちのいずれか 1 つによる光受信装置と同一の構成を有しており、波長分散をそれぞれ動的に補償する可変分散補償器 1、分散検出器 5 および光サーキュレータ 6 を含んでいる。可変分散補償器 1 は特定の波長を有する入射光信号に所定の波長分散を与えるように設計されるが、その波長分散は補償すべき波長分散の範囲に応じたある所定の範囲を有する。例えば 1 5 5 0 n m で 1 n m 以下の波長帯域を有する光信号に対して、0 ~ - 1 0 0 p s / n m 以下の範囲または 0 ~ 1 0 0 p s / n m 以上の範囲で連続的に且つ動的に波長分散を調節するように構成される。可変分散補償器 1 が正または負の波長分散を与えるかは、補償すべき光信号が負または正の波長分散を有しているかに依存する。

#### 【 0 0 7 8 】

可変分散補償器 1 のこのような動的な波長分散補償は、上記実施の形態 1 等で既に述べたように、分散検出器 5 により検出された波長分散の量に基づく可変分散補償器 1 に含まれるパルス電流供給回路 1 0 のパルス電流のパルス幅制御により実現される。

#### 【 0 0 7 9 】

以上のように、この実施の形態 4 によれば、光受信機 7 0 は、多重分離された複数の光信号をそれぞれ分散補償する複数の光受信部 7 1 - 1 ~ 7 1 - m であっ



て、それぞれが、入射する光信号の時間とともに変化し得る波長分散を検出し、検出した波長分散に応じた制御信号を出力する分散検出器 5 と、入射した光信号の波長分散をチャープド回折格子が形成された光導波路 2 に動的に補償させるべく、分散検出器 5 から出力される制御信号に応じて複数のパルス電流を生成して光導波路 2 の光軸に沿って設けられた複数のヒータにそれぞれ供給することにより光導波路 2 に所望の温度分布を生成するパルス電流供給回路 10 を含む可変分散補償器 1 と、波長分散を補償すべき光信号を可変分散補償器 1 へ導くとともに、可変分散補償器 1 により補償された光信号を分散検出器 5 へ導く光サーキュレータ 6 とを有する、複数の光受信部 71-1 ~ 71-m を備えたので、多重分離した後の特定の波長帯域の各光信号の波長分散を精密に且つ動的に補償できる。したがって、光ファイバ通信システムの残留波長分散を効率よく、精密に且つ動的に補償できる効果がある。

## 【0080】

なお、冗長ではあるが、分散補償ファイバ、チャープド回折格子が形成された光ファイバ等の光導波路である静的分散補償器 60 の代わりに、この発明の上記実施の形態 1 から実施の形態 3 のうちのいずれか 1 つによる光受信装置と同一の構成を有する可変分散補償モジュールを光ファイバ伝送路 50 に結合してもよい。この場合、光ファイバ伝送路 50 に結合された可変分散補償モジュールは、時間とともに変動する光ファイバ伝送路 50 の波長分散を動的に補償する。また、複数の光受信部 71-1 ~ 71-m は、光受信機 70 の外部に設けてもかまわない。しかしながら、これらの光受信部が光ファイバ伝送路 50 に直接結合された場合には、光受信機 70 の波長分散を動的に補償することはできない。

## 【0081】

## 【発明の効果】

以上のように、この発明によれば、可変分散補償器は、複数のパルス電流を生成して複数のヒータにそれぞれ供給することにより回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段を備えているので、効率よく分散補償ができる効果がある。

## 【0082】

この発明によれば、パルス電流供給手段が、複数のパルス電流が異なる時間に複数のヒータに到達するように、複数のパルス電流を複数のヒータにそれぞれ供給するので、パルス電流供給手段から複数のヒータに流れる電流のピーク値を下げることができ、パルス電流供給手段の電力供給源の負担を軽減でき且つスイッチングノイズ除去のために用いられる EMI 除去フィルタを小型化できる効果がある。

#### 【 0 0 8 3 】

この発明によれば、光受信装置は、分散検出器から出力される制御信号に応じて複数のパルス電流を生成して複数のヒータにそれぞれ供給することにより回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段を含む可変分散補償器を備えているので、分散検出器により検出された波長分散に応じて複数のヒータにそれぞれ供給すべき複数のパルス電流のパルス幅を変化させることにより素早く回折格子の温度分布を変更でき、応答性に優れた動的な分散補償を可能にする効果がある。

#### 【 0 0 8 4 】

この発明によれば、光ファイバ通信システムは、複数のパルス電流を生成して複数のヒータにそれぞれ供給することにより回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給手段を備えた少なくとも 1 つの可変分散補償器を有する可変分散補償手段を備えたので、光ファイバ伝送路の残留波長分散および光受信機の波長分散を効率よく、精密に且つ動的に補償できる効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明の実施の形態 1 による可変分散補償器および該可変分散補償器を備えた光受信装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】 図 1 に示す実施の形態 1 による可変分散補償器の光導波路および複数のヒータを示す斜視図である。

【図 3】 図 1 に示す実施の形態 1 による可変分散補償器のパルス電流供給回路の構成を示すブロック図である。

【図 4】 図 3 に示すパルス電流供給回路の各乗算器に設定する補正係数が 1 である場合におけるパルス電流供給回路が生成する複数のパルス電流の波形を

示すタイミングチャートである。

【図 5】 図 3 に示すパルス電流供給回路の各乗算器に設定する補正係数が 1 以外の値である場合におけるパルス電流供給回路が生成する複数のパルス電流の波形の一例を示すタイミングチャートである。

【図 6】 この発明の実施の形態 1 による可変分散補償器における光導波路の温度分布の変更の例を示す図である。

【図 7】 この発明の実施の形態 2 による可変分散補償器のパルス電流供給回路の構成を示すブロック図である。

【図 8】 図 7 に示すパルス電流供給回路の各乗算器に設定する補正係数が 1 である場合におけるパルス電流供給回路が生成する複数のパルス電流の波形を示すタイミングチャートである。

【図 9】 この発明の実施の形態 3 による可変分散補償器のパルス電流供給回路の構成を示すブロック図である。

【図 1 0】 図 9 に示すパルス電流供給回路の各乗算器に設定する補正係数が 1 である場合におけるパルス電流供給回路が生成する複数のパルス電流の波形を示すタイミングチャートである。

【図 1 1】 この発明の実施の形態 4 による光ファイバ通信システムの構成を簡略的に示すブロック図である。

【図 1 2】 従来の可変分散補償器の構成を示す図である。

【図 1 3】 他の従来の可変分散補償器の構成を示す図である。

【図 1 4】 図 1 3 に示す可変分散補償器を含む光ファイバ通信システムの構成を簡略的に示す図である。

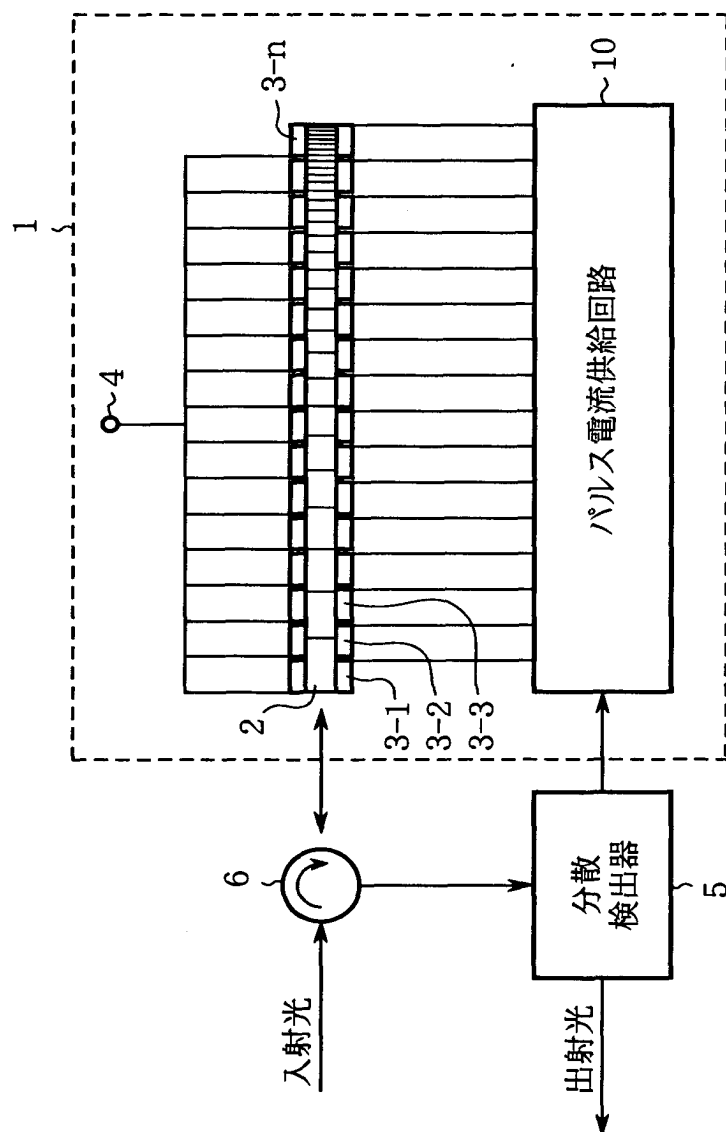
#### 【符号の説明】

1 可変分散補償器、2 光導波路、3-1~3-n ヒータ、4 共通アース端子、5 分散検出器、6 光サーキュレータ、7 基板、8-1~8-n 電極、10 パルス電流供給回路（パルス電流供給手段）、11 直流電源、12 EMI 除去フィルタ、13 パルス電流発生部（スイッチング手段）、14-1~14-n スイッチ、15-1~15-n 制御端子、16 制御パルス発生部（パルス幅制御手段）、17 初期値記憶部（パルス幅決定手段）、18

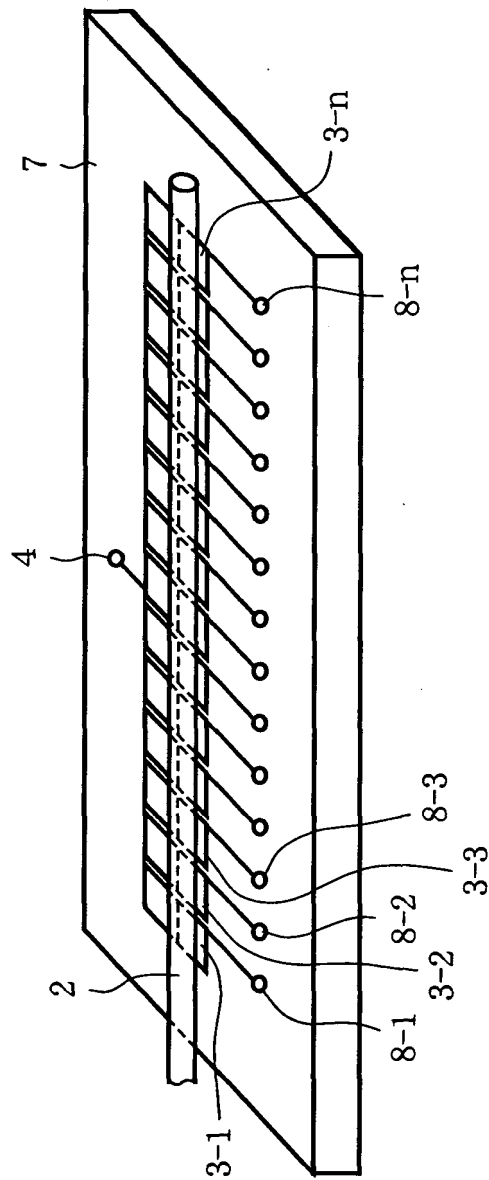
パルス幅増分値記憶部（パルス幅決定手段）、19 補正係数記憶部（パルス幅決定手段、補正手段）、20 制御部（パルス幅決定手段、補正手段）、21-2~21-n 加算器（パルス幅決定手段）、22-1~22-n 乗算器（パルス幅決定手段、補正手段）、23 基準信号発生器、24-1~24-n パルス発生器、25, 26 遅延回路、40 光送信機、50 光ファイバ伝送路、60 静的分散補償器（静的分散補償手段）、70 光受信機、71-1~71-m 光受信部（光受信手段、可変分散補償手段）。

【書類名】 図面

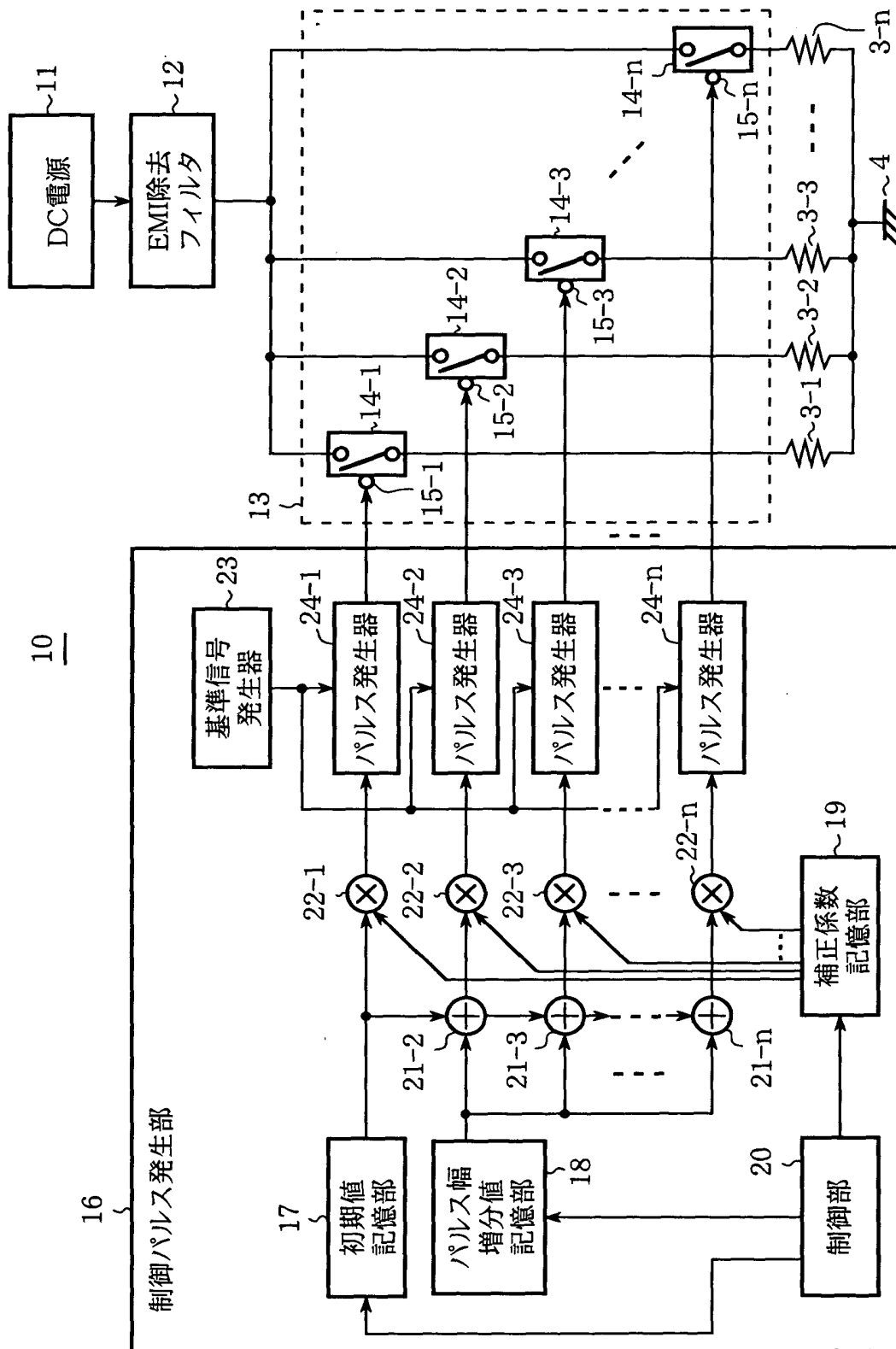
【図 1】



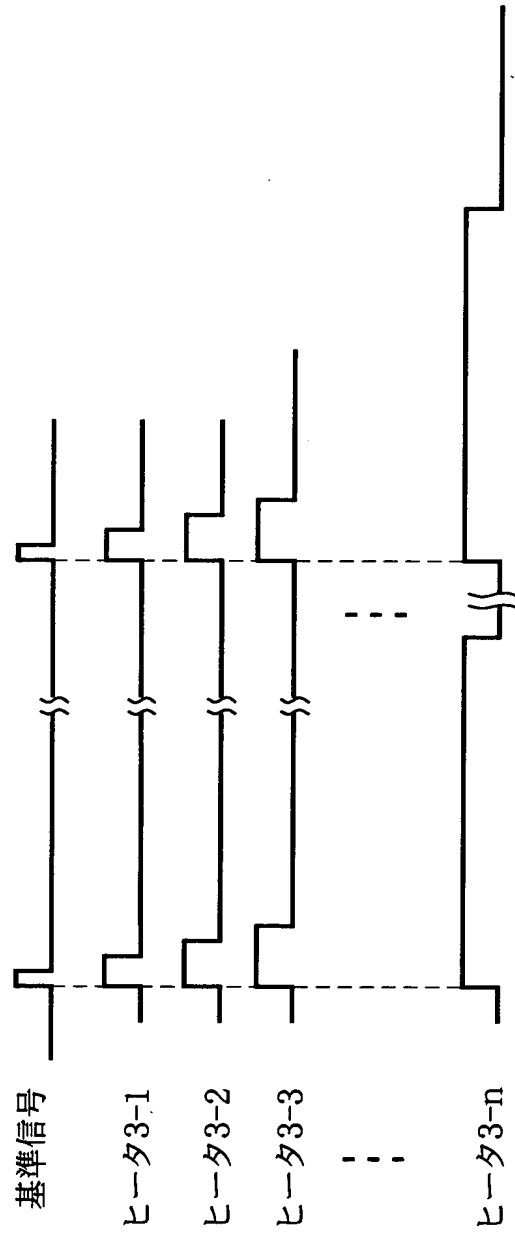
【図 2】



【図 3】

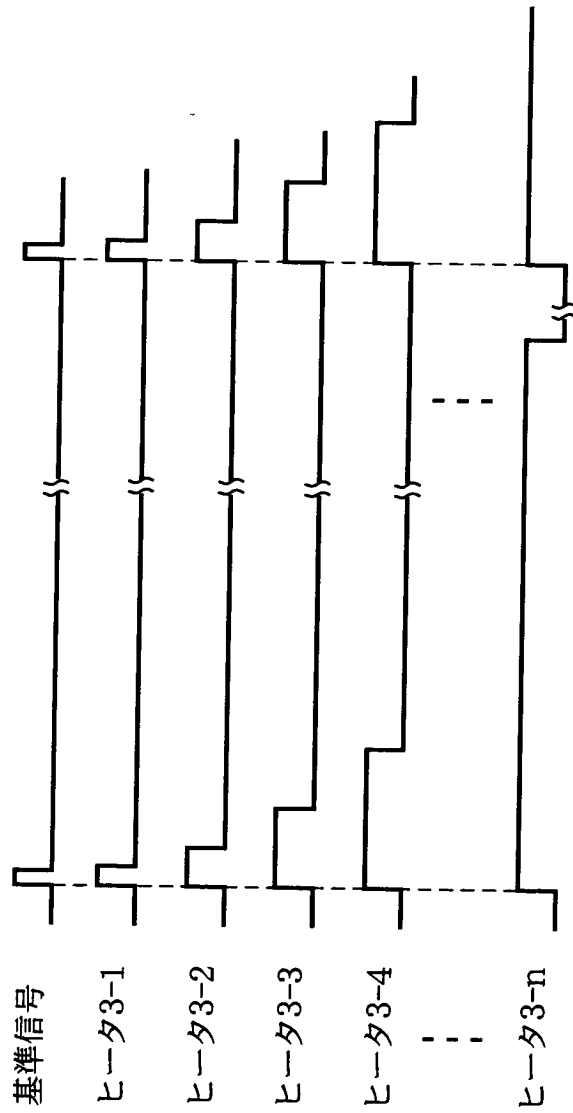


【図 4】

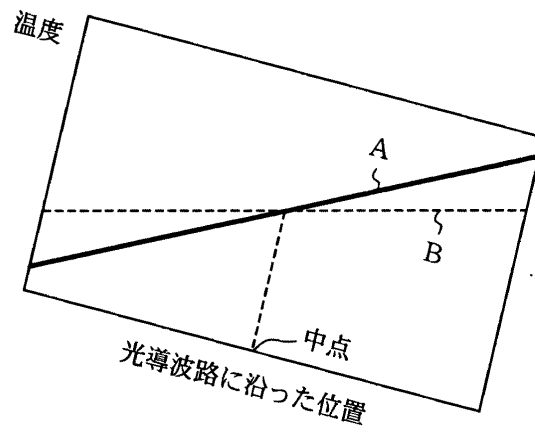




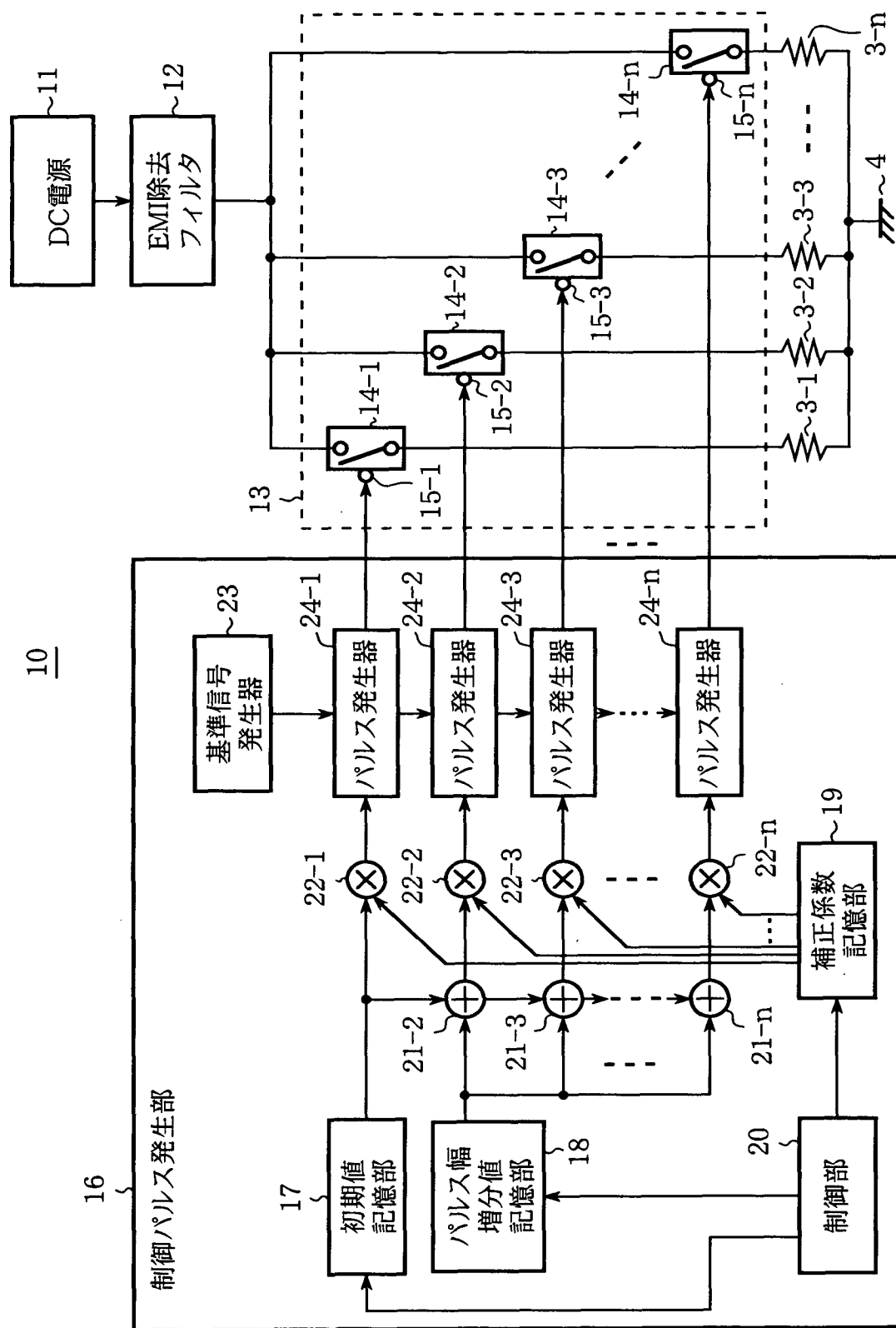
【図 5】



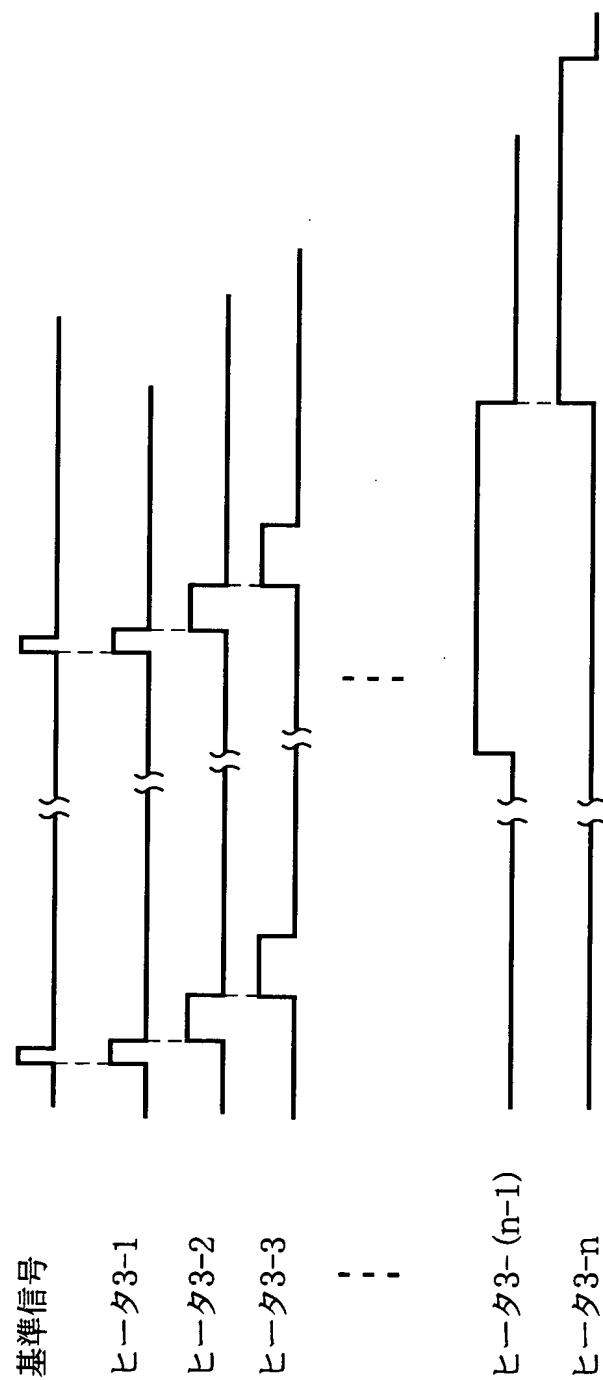
【図6】



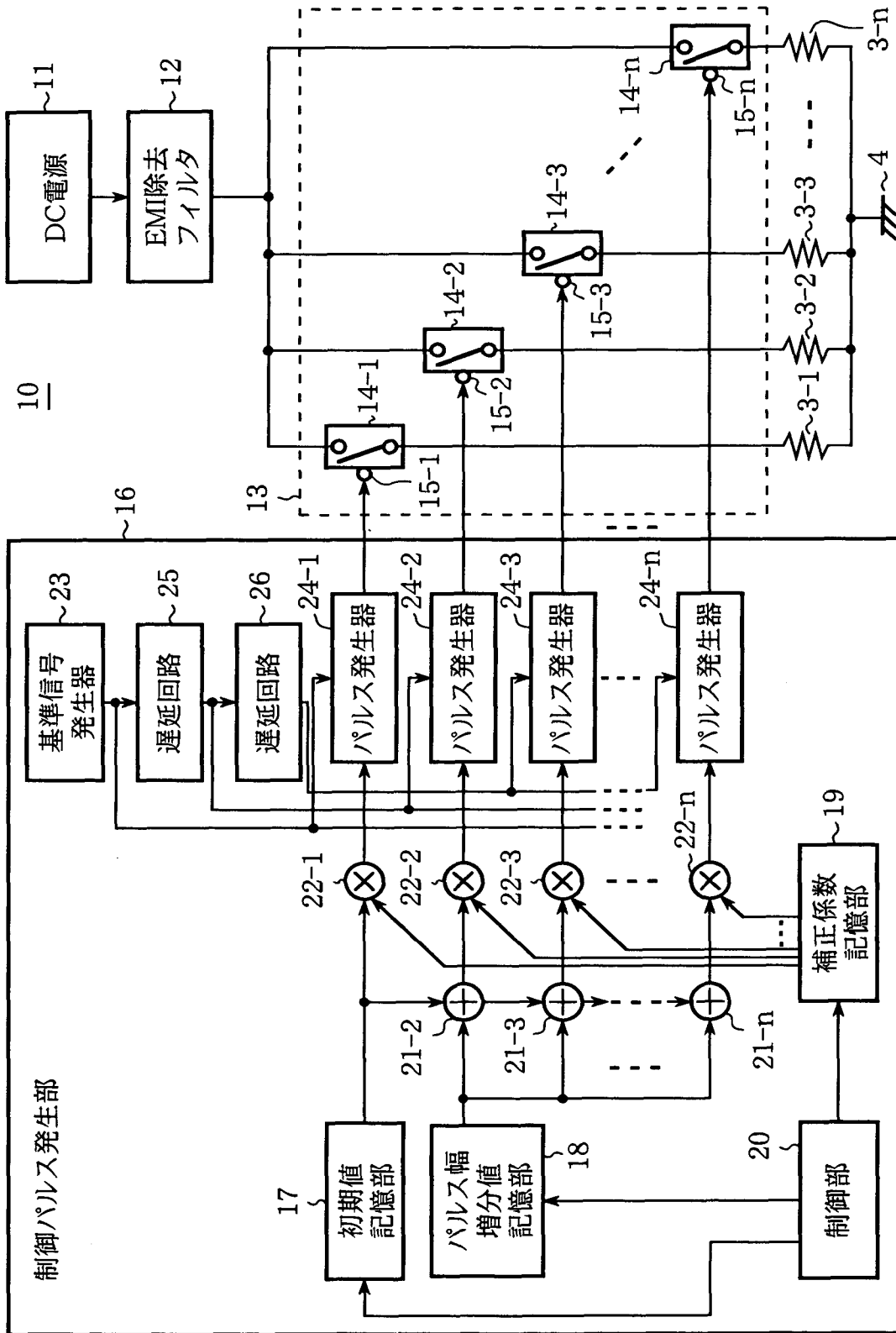
【图 7】



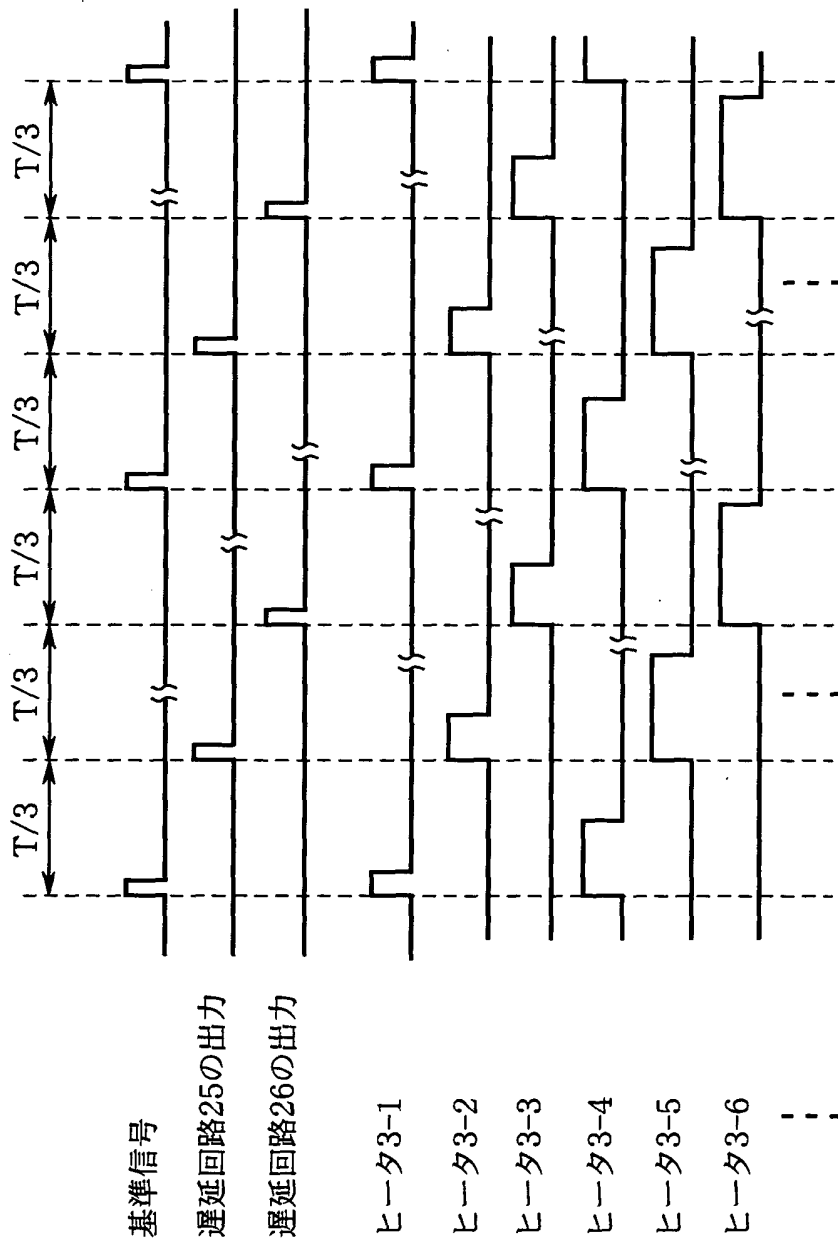
【図 8】



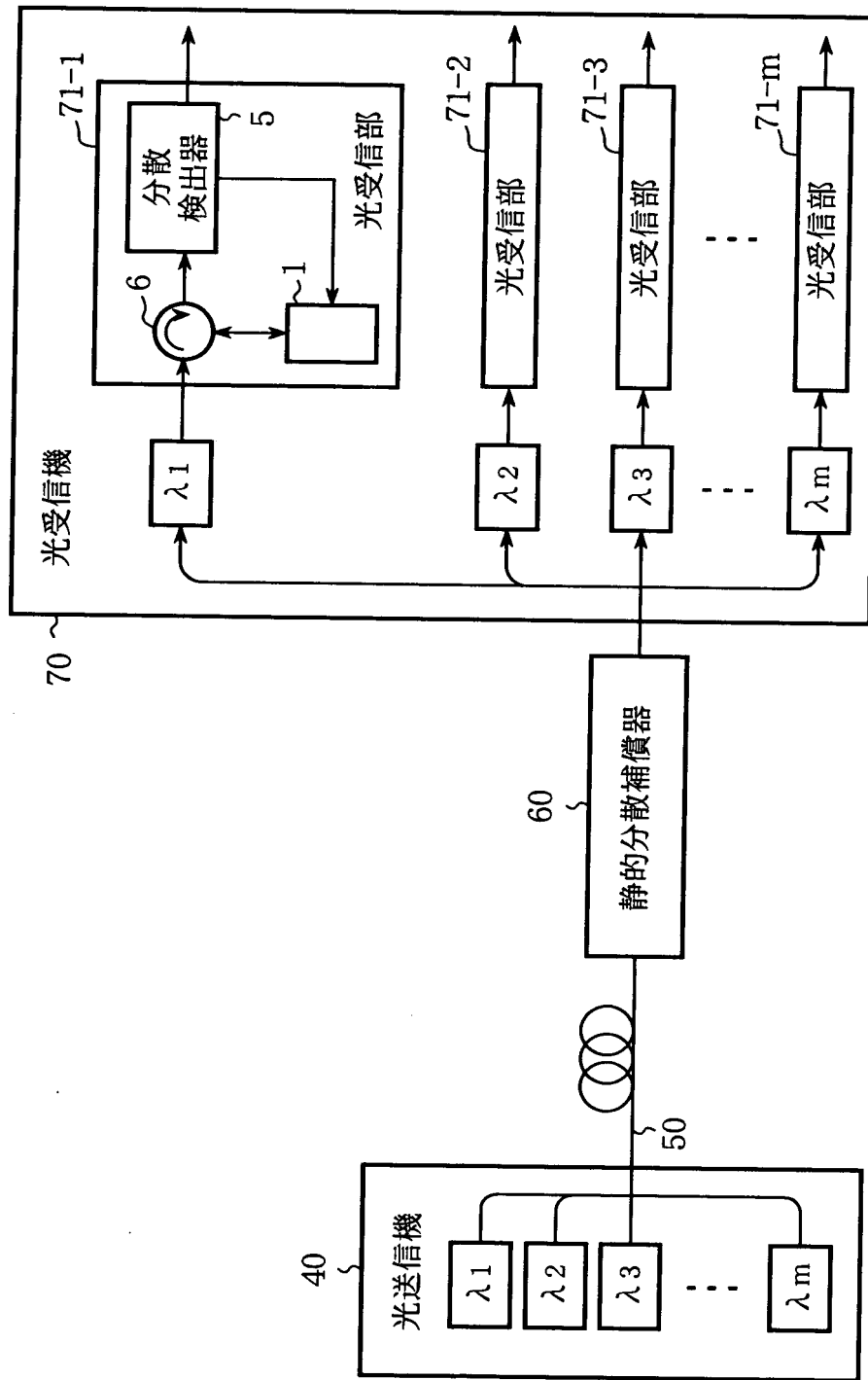
【図9】



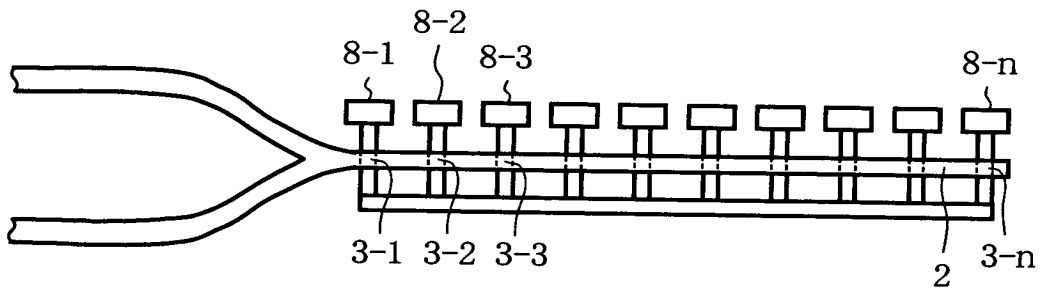
【図10】



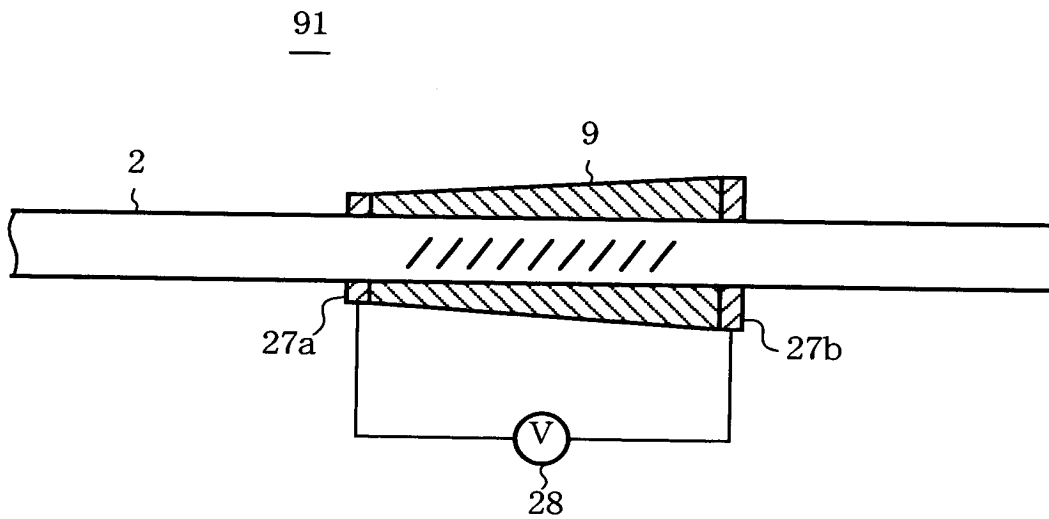
【図 11】



【図 12】

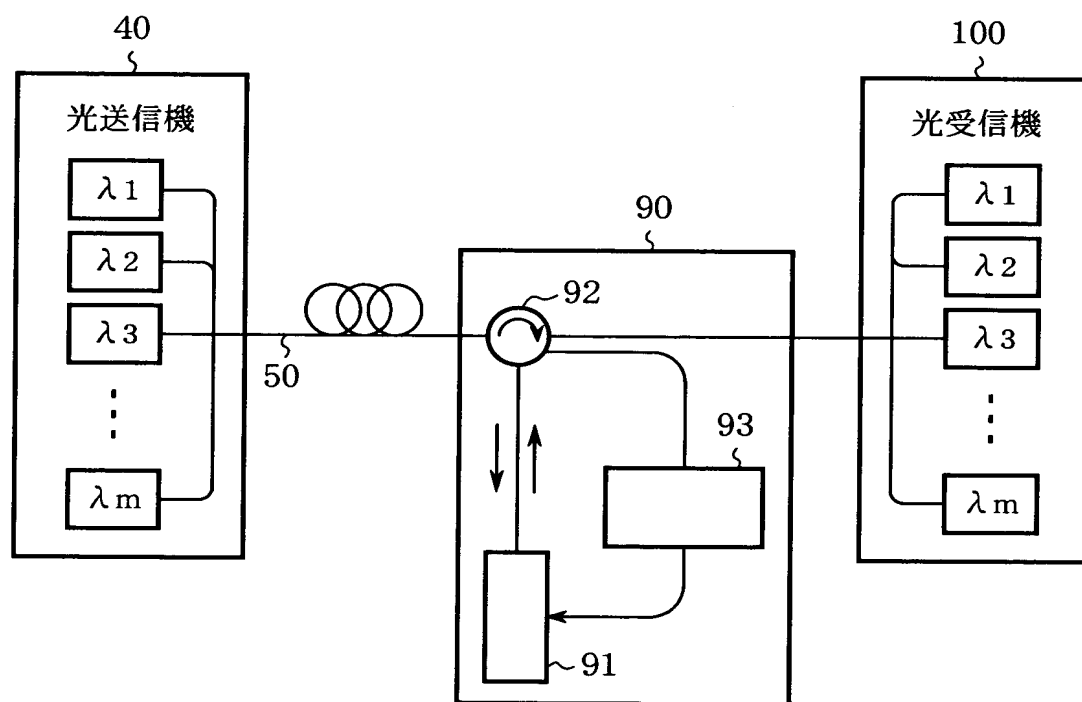


【図 13】





【図 14】



【書類名】            要約書

【要約】

【課題】    光ファイバ通信システムにおいて時間とともに変化する波長分散を効率よく且つ精密に補償するのは困難である等の課題があった。

【解決手段】    可変分散補償器 1 は、入射した光信号の時間とともに変化する波長分散を回折格子が形成された光導波路 2 に動的に補償させるべく、複数のパルス電流を生成して複数のヒータ 3 - 1 ~ 3 - n にそれぞれ供給することにより回折格子に所望の温度分布を生成するパルス電流供給回路 1 0 を備えている。

【選択図】            図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日 1990年 8月24日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号  
氏 名 三菱電機株式会社